

ÉRTEKEZÉSEK EMLÉKEZÉSEK

PROHÁSZKA JÁNOS

ANYAGMINŐSÉG
ÉS TERMODINAMIKAI
BIZONYTALANSÁG



23

AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST

**ÉRTEKEZÉSEK
EMLÉKEZÉSEK**

ÉRTEKEZÉSEK EMLÉKEZÉSEK

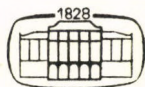
SZERKESZTI
TOLNAI MÁRTON

PROHÁSZKA JÁNOS

ANYAGMINŐSÉG
ÉS TERMODINAMIKAI
BIZONYTALANSÁG

AKADÉMIAI SZÉKFOGLALÓ

1983. ÁPRILIS 20.



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST

A kiadványsorozatban a Magyar Tudományos Akadémia 1982.
évi CXLII. Közgyűlése időpontjától megválasztott rendes és
levelező tagok székfoglalói — önálló kötetben — látnak
napvilágot.

A sorozat indításáról az Akadémia főtítkárának 22/1/1982.
számú állásfoglalása rendelkezett.

ISBN 963 05 3621 8

© Akadémiai Kiadó, Budapest 1984, Prohászka János

Printed in Hungary

A nyersanyag és a hagyományos energia-hordozók készleteinek kimerülésétől való félelem, kitermelési nehézségeik szakadatlan növekedése, ennek következtében relatív áraik emelkedése miatt felhasználásukkor az eddigi-eknél is ésszerűbb gazdálkodásra kényszerülnek az egész világon. Különös gondot jelent ez hazánkban, mivel sem a nyersanyagokban, sem az energiahordozókban nem bővelkedünk. Ezeknek az egyre súlyosbodó gondoknak az enyhítésére, az anyagok és az energiahordozók felhasználásának az ésszerű csökkentésére született már több kormányhatározat, megfogalmazódtak közép- és hosszú távú kutatási, fejlesztési tervek és számos egyéb tevékenység is ezt a célt szolgálja. Szándékosan kerültem az anyagtakarékosság kifejezést, mert az ipari termelésben — és a következőkben csak arról lesz szó — „takarékoskodni” nem lehet. Egy adott műszaki feladat megoldása a hozzáférhető eszközök, technológiák által meghatározott mennyiségű és minőségű anyagot követel. Az ennél nagyobb mennyiség felhasználása pazarlás, de pazarlás a szükséges mennyiségnél kevesebb vagy rosszabb minőségű anyag felhasználása is. Az csak látszólagos „takarékoság”, ha a szükségesnél kevesebb anyagot használnak. Néhány forint értékű anyag nem takarékoság, mert hiánya sokkal

értékesebb teljes alkatrésznek vagy berendezésnek az élettartamát rövidíti meg, pedig az új alkatrész a „megtakarított” anyagnak a többszörösébe kerül.

A műszaki gyakorlatban, beleértve a termelést is, szigorú ésszerűségnek kell érvényesülnie mind az anyag-, mind az energiafelhasználásban, amit egyértelműen megszab a gazdaságosság. Minden eltérés a gazdaságos mennyiségtől, akár több az, akár kevesebb annál, csak pazarlásra, az optimálisnál több fogyasztásra vezet, még akkor is, ha látszólag időszakosan vagy helyileg „megtakarítás” mutatható is ki.

Kevesebb anyagot vagy energiát gazdaságosan csak úgy fogyaszthatunk, hogy megváltoztatjuk a termelés feltételeit új, korszerűbb, kevesebb anyagot igénylő konstrukcióval, vagy jobb minőségű anyag felhasználásával.

Az energiafogyasztás csökkentésének leghatásosabb módja pedig az új, korszerűbb technológiák kidolgozása és bevezetése.

Az anyag-, az energiafelhasználás és -fogyasztás egymással nagyon szoros kapcsolatban álló tevékenység. Energiafelhasználásunknak jelentős részét ugyanis az iparban szükséges anyagok előállítására fordítjuk. Hazánkban a legnagyobb mennyiségben gyártott két fémes anyag, az acél és az alumínium egy-egy tonnájának az előállítására felhasznált energiamentységet az 1. táblázat tartalmazza, összehasonlítva az elméletileg szükséges energiamentységgel.

1. Táblázat

	Energiamennyiség	
	Felhasznált	Elméleti
1 t acél	25 GJ ~ 597 l olaj	7,4 GJ ~ 177 l olaj
1 t alumínium	300 GJ ~ 717 l olaj	31,0 GJ ~ 74,1 l olaj

(1 liter olaj fűtőértékét 10 000 kcal ~ 41,8 MJ-nak tételezzük fel.) A táblázatból látható, hogy milyen nagy mennyiségű energiát használunk fel nyersanyagaink előállításához. Ez az érték különösen elgondolkodtató akkor, ha számításba vesszük, hogy a magyar kohászat jelenleg évenként közel 4 millió tonna acélt és mintegy 70 000 tonna alumíniumot termel.

Az 1. táblázat adatai azt is mutatják, hogy a tényleges energiafelhasználás és az elméleti energiaigény között milyen jelentős eltérés van. Sőt, az is szembeötlő, hogy az acéltermeléshez az elméleti energiaszükségletnek alig 3,5-szeresét, míg az alumíniumhoz annak több mint 9,5-szeresét használjuk el. Ennek oka az, hogy mivel a vasércet importáljuk, a 25 GJ/t csak az ércfeldolgozástól a nyersacél gyártásig szükséges energiamennyiséget tartalmazza, az alumíniumra vonatkozó adatban viszont a bányászattól kezdve minden művelet összesített energiaigénye benne foglaltatik. Mindkét alapanyaggyártásunk energiafogyasztását nagyon növeli az a tény, hogy a kiinduló

ércnek a Fe, ill. Al tartalma a nemzetközi átlaghoz képest kevés.

A 2. táblázat a hazai bauxitok átlagos kémiai elemzésének adatait tartalmazza. Néhány elem mellett megtalálhatók áraik, valamint az, hogy 1 tonna bauxitban milyen értéket képvisel a szóban forgó elem. Ez azt jelenti, hogy pl. a 16,2 kg titán értéke (577,4 \$) több ugyan, mint annak az alumíniumnak az értéke, amiért az egész termelés folyik, mégsem tudjuk hasznosítani, mert ma nem ismerünk olyan eljárást, melynek révén ezt a kevés titán mennyiséget elkülöníthetnénk a többi elemtől az értékénél kisebb költséggel. Ugyanez vonatkozik a többi elemre is. Ez az oka annak, hogy csak az alumíniumot választjuk el a bauxit több alkotójától, melyek a timföldgyártás, a tulajdonképpeni Al-hordozó előállításának a melléktermékeként keletkező ún. vörösiszapba kerülnek.

A hazai bauxitból előállított minden tonna timföld (Al_2O_3) 1,2 tonna vörösiszap keletkezésével jár. Jelenleg hazánkban évente 1 millió tonna vörösiszap kerül a timföldgyárakat körülölelő területekre, csökkentve ezzel a mezőgazdaság hasznosítható területeit.

A vörösiszap gazdaságos felhasználása nagy gond az egész világon. A számtalan kutatás ellenére megoldás nincsen. Az eddig kidolgozott eljárások mindegyike veszteséges, figyelembe véve a mai árakat. Pedig a vörösiszap komponensei jelentős értékeket képviselnek,

2. Táblázat

A HAZAI BAUXIT JELLEMZŐ KÉMIAI ÖSSZETÉTELE

Elem	Mennyiség (súly%)	Ár (USA dollár/tonna)	Érték (USA dollár/tonna bauxit)
Al	27,260	1 200,0	327,12
Fe	12,930	200,0	25,86
Si	2,910	1 250,0	37,50
Ti	1,620	35 600,0	577,40
O ₂	50,500		
H ₂	2,030		
C	1,070		
P	0,410		
Ca	0,350	14 400,0	50,40
Mg	0,250	2 644,8	6,60
Mn	0,100	1 350,0	1,35
F	0,080		
Zr	0,080	695 500,0	556,00
S	0,070		
V	0,060	4 899 780,0	2 940,00
As	0,010	8 897 760,0	889,70
Ga	0,005		
Th	0,005	367 633,0	18,40
Nb	0,004	378 570,0	15,14
U	0,003		
Mo	0,002	152 404,0	3,05
Be	0,001		
Cu	0,001	1 650,0	0,02
Ni	0,001	6 150,0	0,06
Sc	0,001		
Ritkaföld- fémek	0,120		
Egyéb	0,127		

ahogy azt a 3. táblázat mutatja. Ezek szerint a vörösiszap, mely ma csak gondot okoz elhelyezésével, potenciálisan rendkívül értékes nyersanyag. Reméljük, hogy a közeljövőben a kutatási eredmények lehetővé teszik gazdaságos felhasználását.

A legnagyobb tömegben előállított fémes alapanyagunk, az acél termelése is sok energiát fogyaszt és rengeteg, jelenleg használhatatlan salakot képez. Ennek tárolása csak azért nem okoz akkora gondot mint a vörösiszapé,

3. Táblázat

A VÖRÖSISZAP JELLEMZŐ ÖSSZETÉTELE

Vegyület	Mennyiség (súly%)	Σ Elem	Mennyiség (súly%)	Ár (USA dollár/tonna vegyület)	Érték (SA dollár/tonna vörösiszap)
Al ₂ O ₃	17	Al	9,0	7391	1256
Fe ₂ O ₃	40	Fe	28,0	35	14
SiO ₂	12	Si	5,6	—	—
TiO ₂	5	Ti	3,0	350	17,5
Na ₂ O	10	Na	7,4	—	—
MgO	0,7	Mg	0,4	1280	9
CaO	2	Ca	1,4	—	—
V ₂ O ₅	0,25	V	0,14	622850	1557
Kristályvíz;					
P ₂ O ₅ ; CO ₂ ; S; ~ 13					
F; egyéb					

mert ellentétben a vörösiszappal, amely finom por és ezért szétterülve nagy területeket foglal el, a vaskohászati salak darabos és magas halmokban is tárolható.

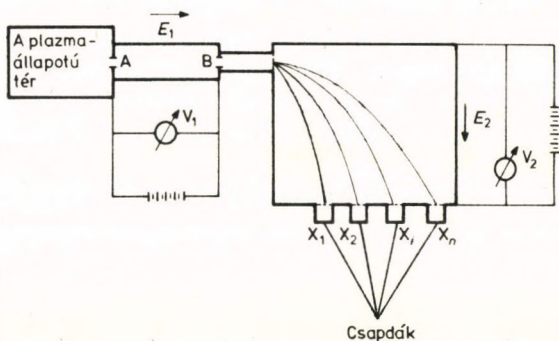
Magyarországon 1 tonna acél előállítása során közel 1 tonna salak keletkezik, évenként mintegy 4 millió tonna. Feldolgozására csupán az utóbbi években gondolnak, mert közel 30%-os Fe-tartalmán kívül más értékes alkotója nincsen. Megdöbbentő, hogy az évenként keletkező vörösiszap és a vaskohászati salak 1,5 millió tonna vasat tartalmaz, teljes évi termelésünknek közel 40%-át. Sajnálatos, hogy ennek a tekintélyes mennyiségű Fe-nek gazdaságos kinyerése a jelenleg ismert technológiákkal nem oldható meg.

A fenti adatok mutatják, hogy a jelenlegi anyagelőállítási technológiánk milyen sok energiát fogyaszt, és mennyi értékes anyagot juttat azokra a salakhányókra, melyek környezetünket csúfítják, életterünket szűkítik, és gyakran még egészségünket is veszélyeztetik. Ennek kapcsán felmerül a kérdés, hogy mit tud ajánlani a ma tudománya az embernek természeti kincsei ésszerűbb hasznosítására?

A korszerű anyagtudomány szinte minden ismeretanyagot feltárt ahhoz, hogy a fent említett nehézségeinken könnyítsünk. A nyersanyag- és energiafelhasználásunkat pl. a plazmatechnológia lehetőségeivel az elméleti értékekhez közeli szintre csökkenthetjük, ki-

használatlan melléktermékek – vörösiszap, salak – képződése nélkül. A plazmatechnológia néhány év alatt bámulatos eredményeket hozott létre, és fejlődésének határai még távolról sem láthatók. Segítségével a nyersanyagellátás is véglegesen megoldhatónak tűnik.

A következőkben egy olyan nyersanyaggyártási technológiának a vázlatát mutatjuk be, mely – meggyőződésünk szerint néhány évtizeden belül – megvalósulhat. Annak szinte minden részletét ismeri a mai technika és helyenként hasznosítja is. Az eljárás alapgon dolata a következő: minden anyag, álljon az bármilyen molekulából vagy atomból, a hőmérséklet növelésével megolvad, elpárolog (disszociálódik, ha molekulából áll), és végül ionizálódik. Ez utóbbi, ún. plazmaállapotban, az anyag főleg elektronokból és pozitív töltésű ionokból áll. Így pl. ha a nagyon sok komponensű bauxit elég nagy hőmérsékletre hevül, a benne levő Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , V_2O_5 stb. mind atomjaira disszociálódik, és ionizálódik. Az ilyen nagy hőmérsékletű plazma Me_i^{+ni} és O^{+m} stb. pozitív fém, oxigén és egyéb ionokból és negatív elektronokból áll. A bauxitban az Al_2O_3 a legnehezebben disszociálódó anyag, de a plazmában az is szétbomlik, ahogy azt már kísérletekkel igazolták. Az alkotóra szétesett anyag a lehűlése során újra vegyületeket képez, ezért a külön-



1. ábra.

böző elemeknek a szétválasztását ionos állapotban kell elvégezni.

Az 1. ábra szerinti elvi elrendezésben ez megvalósítható. Az első térben olyan nagy a hőmérséklet, hogy benne minden anyag plazmaállapotba kerül. Ebből a plazmaállapotú térből az A jelű nyíláson keresztül az E_1 elektromos erőter a pozitív ionokat „kiszivattyúzza”, és ebben a térben $\frac{n_i e}{m_i}$ gyorsulással jutnak el a B nyílásig. Az n_i az i -edik atomfajta ionizáció során elvesztett elektronjainak a száma, e az elemi töltés, m_i pedig a szóban forgó ionnak a tömege. Ennek a térnek a hatására a különböző töltésű és tömegű ionok más-más, de elemfajtánként ugyanazzal a v_{iB} végsebességgel érkeznek a B pontba. (A teljesség kedvéért megjegyezzük hogy az azonos elemek izotópjainak végsebes-

ségei a tömegek arányában eltérőek.) A C nyíláson át bekerülnek egy olyan E_2 elektromos terű részbe, melyben a korábbi röppályára merőlegesen térülnek el. Így minden ionfajta más-más röppályára kényszerül, és a szétválasztódás tulajdonképpen ebben a tartományban megy végbe.

A röppályák szerint szétválasztott elemek az $X_1, X_2 \dots X_i$ helyeken elhelyezett csapdába kerülnek, ahol elvesztik töltésüket a csapdára kapcsolt negatív pólus révén. Így elvben minden egyes csapdában a megfelelő elemek nagy tisztaságban felfoghatók és hozzáférhetők. Az ismertetett megoldásnak jelenleg is minden feltétele adott. Az ilyen eljárás során nem keletkezik salak, és nem kellene hozzá olyan segédanyagok nagy mennyiségben, mint pl. a NaOH az Al előállításához, vagy C az acélgyártáshoz. Az igaz, hogy ehhez villamos energia kell, de az is, hogy ennek az energia-szükséglete megközelíti az elméleti értéket. Annál csak annival nagyobb, amennyit a felhevített rendszerből a lehűtés során nem tudunk hasznosan visszanyerni.

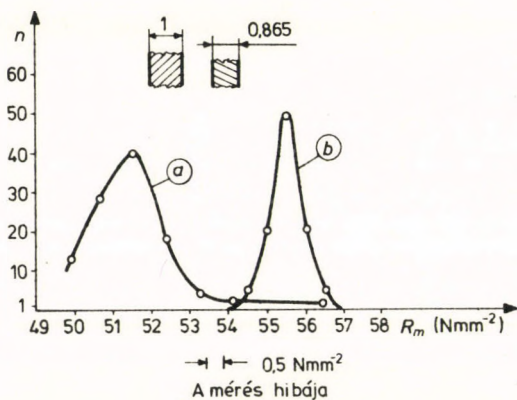
Azt az óriási salakmennyiséget azonban, amit a jelenlegi eljárások során kezelni, szállítani és hevíteni kell, a javasolt eljárás megszünteti. Eltűnnek a salakhányók, és ez esetben a környezetvédelemre sem kell költeni. Ez lesz a XXI. sz. nyersanyag-előállítási technológiája.

Az eljárás természetesen csak elektromos energiával táplálható. Az egyéb — a mai hevítéstechnikában használatos — energiahordozókkal a plazmaállapot, melynek kialakulása során a disszociáció és az ionizáció a nagy kötése erősségű vegyületekben is végbemegy, nem érhető el. Ma még az elektromos energia fajlagos költsége nagyobb, mint a hagyományos energiahordozók energiájáé (olaj, gáz, szén stb.), de a fúziós reaktorok kidolgozása után a költségek aránya megváltozik a villamos energia javára.

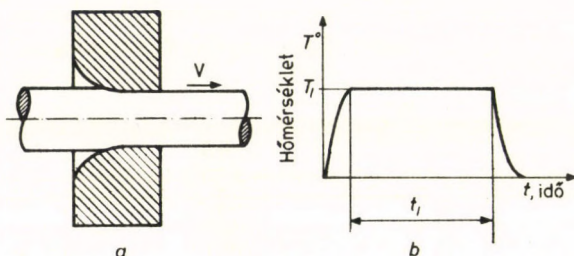
Az anyag és energia felhasználásának legnagyobb csökkentési lehetősége a mai feltételek között az anyagok minőségének javításában rejlik. A jobb minőségű anyagokból ugyanolyan műszaki feladat megvalósításához kevesebb anyagra van szükség, és ez természetesen az energiafelhasználásnak a csökkentését is magával hozza (l. az 1. táblázatot).

Az anyagok minőségét a kémiai összetétel és az előállítási technológia szabja meg. Az anyagok minősége azonban a látszólag azonos technológia mellett is kisebb-nagyobb szórást mutat. A 2. ábra *a* jelű görbéje egy viszonylag tiszta (99,5 E szabványjelű) 1,38 mm átmérőjű alumíniumhuzal szakítószilárdságának az eloszlását szemlélteti.

A 3/a ábrán bemutatott húzóürege alakították a huzal minden térfogatát, majd a 3/b ábrán bemutatott $T(t)$ hőmérséklet-idő diagram szerint változtatták a huzal hőmér-



2. ábra.



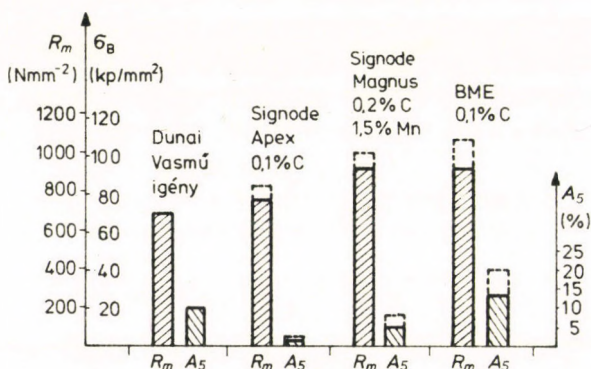
3. ábra.

sékletét. A szórás, amely meglehetősen nagy, annak ellenére létezik, hogy a huzalelőállítási technológia igen egyszerű. A szórás bizonyos mértékig csökkenthető, de teljesen megszüntetni nem lehet. Emiatt a méretezésnél csak a kisebb értékeket vehetjük számításba. Ezért

arra kellene törekedni, hogy a szórást úgy csökkentjük, hogy az egész eloszlásgörbe a nagyobb értékek felé tolódjék el, ahogy ezt a 2. ábra *b* görbéje mutatja. Az ábrába a vonalak fölé berajzoltuk azokat a keresztmetszeteket is, melyeket használni kell adott terhelés esetén. Ez az ugrásszerű minőségjavítás beruházás nélkül is elérhető, csupán a technológiai előírásoknak a használt berendezésekhez való gondos illesztésével és azok pontos betartásával.

Népgazdasági céljaink elérése érdekében a minőségjavítással elérhető anyagmegtakarítás lehetősége óriási. Hazánkban, az ipari termelésben, évente közel 1000 Md Ft értékű anyagot használunk fel. 5–10%-os minőségjavítás elérése még a jelenlegi technológiai eszközökkel is megvalósítható. Ez csak az 5%-os értékkel számolva is ~50 Md Ft évenkénti kiadáscsökkentést jelent, ami évente 50 000 db, egymillió forint értékű, 70–80 m² alapterületű összkomfortos lakás értékének felel meg. Ezért tartjuk a műszaki feladatok megoldása során a legfontosabbnak a minőségjavítást és természetesen annak előfeltételeként a technológiai folyamatok szakadatlan korszerűsítését.

Az alábbiakban ismertetünk egy olyan új eljárást, mely az egyik legnagyobb tömegben előállított kis széntartalmú vasötvözetnek a tulajdonságait nagymértékben megjavította. A 4. ábrán bemutatjuk az így elért tulajdonságo-

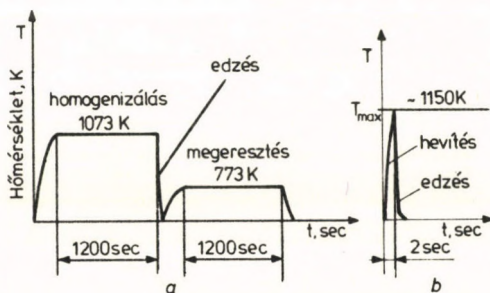


4. ábra.

kat C 10 jelű anyagból készült kötözőszalagra vonatkozóan, és ezeket összehasonlítottuk annak a cégnek az azonos rendeltetésű termékeivel, mely a legtöbb kötözőszalagot hozza forgalomba és a világpiacot uralja. Az ábra első két oszlopa a Dunai Vasmű igényét szemlélteti, melyben megjelölte a hőkezelési technológiával elérendő minőségi paramétereket, az R_m szakítószilárdságot és az A_5 értéket, azaz az 5-szörös jelhosszúságon elérendő fajlagos nyúlást. A második és harmadik oszloppár a világ vezető cégének, a Signode vállalatnak a jelenlegi ajánlata szerint mutatja ugyanezeket a paramétereket. A negyedik oszloppár felel meg a BME Mechanikai Technológia és Anyagszerkezzettani Intézete és az MTA Fémtechnológiai Tanszéki Kutatócsoport által kidolgozott technológiával ké-

szült anyag paramétereinek. Az összehasonlítás egyértelműen az általunk kidolgozott anyag paramétereinek az elsőbbségét mutatja, különösen akkor, ha figyelembe vesszük, hogy a harmadik oszloppár a Signode olyan szalagjára vonatkozik, mely 0,2% C-t és 1,5% Mn-t tartalmaz, szemben az összes többi (az ábrán szereplő) szalaggal, melyekben csak 0,1% C és 0,3% Mn van. A BME-n kidolgozott anyag ezzel az ötvözött minőséggel egyenértékű. Ehhez meg kell említeni, hogy nemcsak azért gazdaságosabb az így hőkezelt anyag, mert tonnánként közel 12–13 kg Mn felhasználása válik feleslegessé, hanem azért is, mert a hőkezelési technológiája is olcsóbb, egyszerűbb, kevesebb energiafelhasználású és sokkal termelékenyebb.

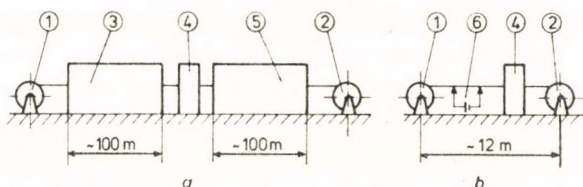
Az 5. ábra a két hőkezelési technológiát mutatja be. A hagyományos technológia há-



5. ábra. A hagyományos (a) és a gyors (b) hőkezelés $T(t)$ görbéi

rom műveletből áll. Az első egy homogenizáló izzítás az ausztenites tartományban, ezt gyors hűtés követi, az edzés, majd végül egy kisebb hőmérsékleten végrehajtott megeresztés. Ennek a hőkezelésnek a két hevítési szakasza kb. 20–20 percet igényel. A termelékenységet a kemencehossza szabja meg. 100 m hosszú izzítóterű kemencéket feltételezve (az egyik a homogenizálást, a másik a megeresztést szolgálja a vázlatos ábra szerinti elrendezésben), 5 m/perc áthúzási sebességgel dolgozhat a berendezés. A kemence teljes hossza mintegy 220 m. A hevítőszakaszok a közvetett melegítés miatt ilyen hosszúak. A korszerű megoldások a kemencehosszúságot azzal csökkentik, hogy ugyanabban a kemencetérben a szalag irányát terelőhengereken többször megváltoztatják.

A BME-n kidolgozott technológia szerint a szalagot a rajta keresztülfolyó elektromos áram hevíti fel. A hevítési sebességet és a $T(t)$ hőmérséklet–idő függvényt úgy állítottuk be, hogy a megeresztésre itt nincs szükség. A felhevítési sebesség annyira gyors, hogy a teljes hevítési idő mindössze 2 sec-ig tart. Ezt követi az edzés. A berendezés teljes hossza így 12 m alatt marad, nem beszélve arról, hogy a szalag hevítési ideje 2 sec, áthúzási sebessége pedig 30–60 m/perc. A 6. ábra szemlélteti egy hagyományos és egy gyors hőkezelő berendezés elvi vázlatát. Egy ilyen berendezést a Salgótarjáni Kohászati Üzemek részére már



6. ábra. A hagyományos (a) és a gyors (b) hőkezelő berendezések elvi vázlata: 1. lecsévéelő, 2. felcsévéelő, 3. homogenizáló kemence, 4. edző berendezés, 5. megeresztő kemence, 6. áramforrás

szállítottunk, melyben a szalag sebessége 30 m/perc. A szalag maximális hőmérséklete kb. 50–70 °C-kal nagyobb, mint a közvetett fűtésű kemencében. Ugyanaz a folyamat tehát, aminek a hagyományos kemencében az időszükséglete ~20 perc, ezen a nagyobb hőmérsékleten a másodperc törtrésze alatt megy végbe. A berendezésnek a beruházási költsége töredéke a hagyományosénak és az az előnye még, hogy sokkal kisebb épületre van szükség az elhelyezésénél. A rajta előállított anyag minőségét megszabó paramétereket a 4. ábra mutatja.

Az ismertetett gyorsizzítási, ill. gyors hőkezelési technológia a bemutatott példán túl más területeken is alkalmas széles körű tulajdonságváltoztatásokra.

A 4. táblázatban néhány, az európai acéliparban vezető szerepet játszó cégtől származó 11 különböző acéltípus kémiai összetételét és

4. Táblázat

		C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	V	Al	Nb	P	S	R _m	A ₅	A ₅	R _m
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	Nmm ⁻²	%	%	Nmm ⁻²
Mannesmann		0,12	1,65	0,5		0,3	0,3		0,08		0,06	0,025	0,015	588	20	20	589
Krupp 445956		0,07	0,84	0,06						0,055		0,017	0,008	535	33	35	538
SVENSKT STÅL	10 028293	0,10	1,21	0,3						0,064	0,018	0,009	0,01	573	28	30	573
	10 023218	0,086	1,14	0,28						0,068	0,02	0,009	0,01	580	26		
	NSA 283 ^{XP} _{YP}	0,16	1,3	0,4								0,030 0,035	0,03	420	32 30	36	518
NSA 323YP		0,18	1,6	0,4						X		0,035	0,03	440	28		
NSA 363 ^{XP} _{YP}		0,18	1,6	0,4						X	X	0,030 0,035	0,03	490	30 28		

SVENSKT STÅL

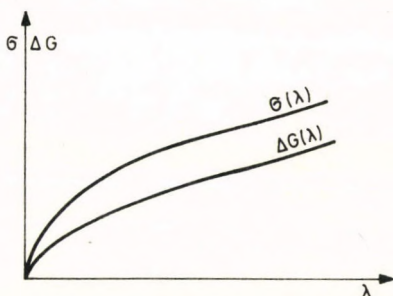
SVENSKT STÅL	NSA 403 ^{XP} _{YP}	0,18	1,6	0,4					X	X	0,030 0,035	0,03	510	28 26	
	NSA 503 ^{XP} _{YP}	0,18	1,6	0,4				X	X	X	0,030 0,035	0,03	610	20	18,2 670
	Car-Ten A	0,12	0,2 0,5	0,25 0,75	0,3 1,25	0,65	0,25 0,55				0,07 0,15	0,05	480	24	
	Car-Ten B	0,19	0,8 1,25	0,3 0,65	0,4 0,65	0,4	0,25 0,40	0,02 0,1			0,04	0,05	480	24	23 559
DV C10		0,07	0,34	0,1	0,02	0,05	0,04		0,004	0,004	0,021	0,02			

mechanikai tulajdonságait állítottuk össze. Az utolsó sorban a Dunai Vasmű által gyártott acélnek a kémiai összetételét adtuk meg. A táblázat négy utolsó oszlopa közül az első kettő az adott cég katalógusadatait, az utolsó kettő pedig a BME berendezésén gyors hőkezelt dunaújvárosi szalagnak a paramétereit tartalmazza.

Az összehasonlítás szerint az ötvözetlen, 0,07% C-t tartalmazó szénacélból szinte minden, a nyugati piacra gyártott acélfajtának megfelelő tulajdonságot biztosítani tudtunk. A minőségi eredményeken túlmenően itt azt is meg kell említeni, hogy a hazai anyag nem tartalmaz ötvözőket. Ez tonnánként legalább 700 Ft nyugatról importált ötvöző megtakarítását jelenti.

A fenti acéltípusból a hazai kötözőszalag mennyiség mintegy 10 000 tonna, de még ennél is nagyobb jelentőségű az eljárás hajlított profilú tartók esetében, amiből évente több mint 100 000 tonnát gyárt a hazai vaskohászat.

A szilárd anyagok tulajdonságainak a megváltoztatását az teszi lehetővé, hogy megváltoztatható azok termodinamikai állapota, a termodinamikai állapottal pedig a tulajdonságokat megszabó reális anyagszerkezet. Ezt a lehetőséget használjuk ki minden olyan technológiai műveletnél, így pl. a hőkezelésnél, mellyel az anyagok tulajdonságait változtatjuk meg.



7. ábra.

A 7. ábra vázlatosan egy fém alakításához szükséges σ feszültséget mutatja a λ alakváltozás függvényében. Ebbe a diagramba berajzoltuk a szabadentalpia ΔG változását is az alakítás függvényében. Minden tulajdonságváltozást valamilyen ΔG szabadentalpia változás kíséri, vagy fordítva. A tulajdonságok azonossága a termodinamikai állapot azonosságát követelné meg. A termodinamikai állapotok azonosságának a betartása azonban nagy nehézségekbe ütközik. Ez az oka a látszólag azonos technológiával készült anyagok szórásának. Ebből ered a leggyakrabban a selejtes vagy rossz minőségű termékek megjelenése. A következőkben egy olyan terméket ismertetünk, melyben a szerkezet és a termodinamikai állapot nagyon eltérő.

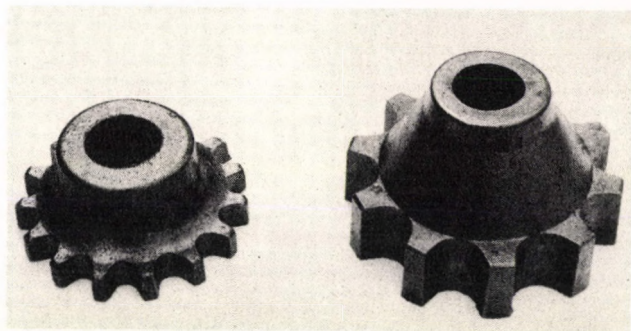
A 8. ábrán két öntöttvasból készült fogastárcsa látható. A 9. ábra a bal oldali, a nagyobb tárcsa anyagának két szövetszerkeze-

ti képét mutatja annak illusztrálására, hogy ebben az öntöttvas tárcsában a grafit milyen alakot vesz fel. A 9/a ábrán látható részben a grafit gömb alakú, míg a 9/b ábra olyan helyről készült, melyben a gömb alakú grafit mellett lemez alakúak is előfordulnak.

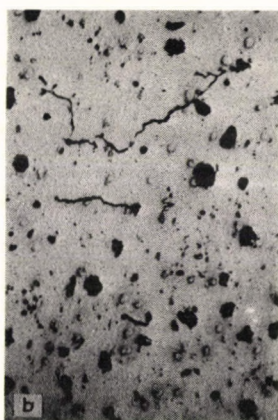
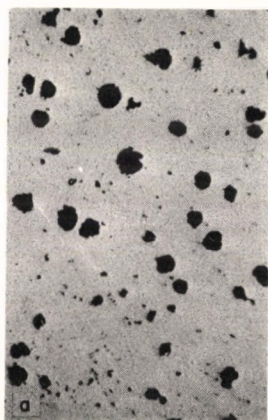
A grafit az öntöttvasakban rendszerint lemez alakú. A kémiai összetétel módosításával és a kristályosodás során a hőelvonás sebességének a változtatásával elérhető, hogy a grafit a kristályosodás során gömb alakúvá kristályosodjék a lemez alakú helyett. A grafitnak a megjelenése ugyanis csökkenti az ötvözet szilárdságát, egyrészt mert nagyon lágy, csak kevésbé terhelhető fázis, másrészt mert a külső terhelés hatására az öntöttvasban ébredő feszültség a vas–grafit fázishatáron ugrászerűen megnő. Ez a feszültségcsúcs a fázishatáron attól függ, hogy milyen a grafitnak az alakja és a mérete. Ha a grafitmentes ötvözetben a külső terhelés hatására $\sigma_{\text{átl.}}$ átlagos feszültség ébred, akkor a vas–grafit fázishatáron ébredő σ_{max} feszültségcsúcsnak a nagyságát a

$$\sigma_{\text{max}} = \sigma_{\text{átl.}} \left(1 + 2 \sqrt{\frac{c}{\rho}} \right) \quad (1)$$

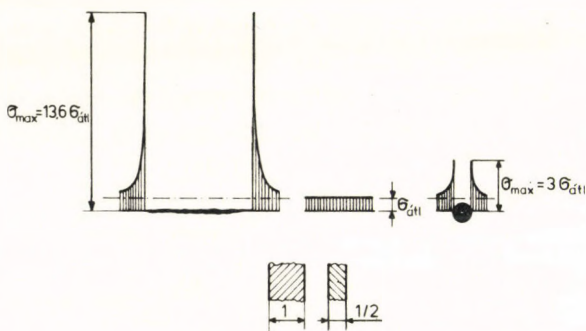
összefüggés adja meg. Itt c a grafitkristály méretének a fele, ρ pedig a görbületi sugár. Ennek a függvénynek az abszolút minimuma $c = 0$ -nál van, azaz akkor, amikor az ötvözet-



8. ábra.



9. ábra.



10. ábra.

ben nincsen második fázis. Az öntöttvasban ez nem kerülhető el. A σ_{max} úgy csökkenthető, hogy a c/ρ hányados csökken, aminek a minimális értéke 1, akkor, ha a grafit gömb alakú. Ez az oka annak, hogy a gömbgrafitos öntöttvas előállításának technológiáját kidolgozták és, hogy annak mennyisége az öntöttvastermelésben szakadatlanul nő.

A 10. ábra vázlatosan mutatja, hogy a 9/b ábrán látható grafitképződményekhez milyen feszültségeloszlás tartozik, ha a $\sigma_{\text{átl.}} < \sigma_F$, ahol σ_F a fémkristály folyáshatárát jelenti. A 9/b ábrából kiolvasható adatok szerint a lemez alakú grafit környezetében több mint négyszer akkora feszültségcsúcs alakul ki a terhelés kezdeti szakaszában, mint a gömb alakú grafit közelében. Ennek figyelembevételével a magyar szabvány mintegy kétszer akkora terhelést enged meg a gömbgrafitos öntöttvasra,

mint a lemezesre. Ez a példa is mutatja, hogy a közel azonos összetételű és technológiában sem nagyon különböző anyagból csak a felét kell felhasználni azonos műszaki feladatok eléréséhez, ha az anyag tulajdonságait megjavítjuk.

Az, hogy a grafit gömb alakban vagy lemezesen kristályosodik, a kristályosodási hely termodinamikai állapotától függ. Ez szabja meg a késztermék minőségi paramétereit.

Már korábban is említettük, hogy az azonos termodinamikai állapotok biztosítása a tulajdonságváltoztató technológiák legnehezebb és legfontosabb feladata. A következőkben ezt a problémakört, ennek a nehézségeit mérlegeljük.

Egy anyagi rendszer termodinamikai állapotát egyértelműen meghatározzák az állapotjelzők. Ezek segítségével a rendszer minden többi sajátsága, tulajdonsága megadható. Az állapotjelzők közötti összefüggést az állapotegyenlet adja meg. Ilyen a

$$PV = RT \quad (2)$$

az egy molekulásúlynnyi mennyiségre vonatkozó általános gáztörvény (mely akkor helyes, ha a gáz a cseppfolyósodás feltételeitől messze van). Itt P a nyomás, V a fajtérfogat, T az abszolút hőmérséklet, R pedig az egyetemes gázállandó.

Hasonló állapotegyenlet a szilárd testekre nem írható fel. A fentiek ugyanis csak akkor érvényesek, ha a termodinamikai rendszer egyensúlyban van, azaz, ha G szabadentalpiája minimális. A szilárd testek pedig a bennük mindig és elkerülhetetlenül jelenlevő kristályhibák miatt nem lehetnek egyensúlyi állapotban.

Mivel minden termodinamikai rendszer adott állapotához a tulajdonságoknak egyértelműen megszabott halmaza tartozik, amennyiben a termodinamikai állapot változtatható, változnak a rendszer tulajdonságai is. A következőkben igazoljuk, hogy a szilárd testek termodinamikai állapota nemcsak változtatható, de ezek az állapotok nagyon eltérőek lehetnek még akkor is, ha T hőmérsékletük, P nyomásuk, c_k komponenseik koncentrációja és termodinamikai állapotuk egyik jellemzője, a G szabadentalpiájuk értéke azonos.

Legyen egy ideális szilárd test G_i szabadentalpiája

$$G_i = U_i - TS_i + PV_i, \quad (3)$$

ahol U a belső energia, S az entrópia és V a fajtérfogat. Az i index az ideális állapotra utal, melyhez a szabadentalpiának minimális értéke tartozik.

A reális testek

$$G_r = U_r - TS_r + PV_r \quad (4)$$

szabadentalpiája a már említett kristályhibák következtében mindig a valamilyen

$$\Delta G = G_r - G_i \quad (5)$$

értékkel nagyobb. A ΔG szabadentalpia-többlet a metastabilitás mértéke.

Tegyük fel, hogy egy adott kémiai összetételű és G^A szabadentalpiájú anyagból készített A jelű próbatestnek megfelelő méretű és összetételű B próbatestet is tudunk készíteni azonos értékű G^B szabadentalpiával. Ennek megfelelően, ha hőmérsékletük egyenlő, akkor

$$\begin{aligned} G^A &= U_i + \Delta U^A - T(S_i + \Delta S^A) + P(V_i + \Delta V^A) = \\ &= U_i + \Delta U^B - T(S_i + \Delta S^B) + P(V_i + \Delta V^B) = G^B \end{aligned} \quad (6)$$

és

$$\begin{aligned} \Delta G^A &= \Delta U^A - T\Delta S^A + P\Delta V^A = \\ &= \Delta U^B - T\Delta S^B + P\Delta V^B = \Delta G^B \end{aligned} \quad (7)$$

Ezek az egyenlőségek akkor is fennállhatnak, ha

$$\Delta U^A \neq \Delta U^B$$

$$\Delta S^A \neq \Delta S^B \quad (8)$$

$$\Delta V^A \neq \Delta V^B.$$

Ha ugyanis a két próbatestben n^A , illetve m^B féle kristályhiba fordul elő, $\rho_1, \rho_2 \dots, \rho_k \dots \rho_m \dots \rho_n$ koncentrációban, akkor az írható, hogy

$$\Delta U^A = \Delta U_1^A + \Delta U_2^A + \dots + \Delta U_k^A + \dots + \Delta U_n^A$$

$$\Delta S^A = \Delta S_1^A + \Delta S_2^A + \dots + \Delta S_k^A + \dots + \Delta S_n^A \quad (9a)$$

$$\Delta V^A = \Delta V_1^A + \Delta V_2^A + \dots + \Delta V_k^A + \dots + \Delta V_n^A$$

és

$$\Delta U^B = \Delta U_1^B + \Delta U_2^B + \dots + \Delta U_k^B + \dots + \Delta U^B$$

$$\Delta S^B = \Delta S_1^B + \Delta S_2^B + \dots + \Delta S_k^B + \dots + \Delta S_m^B \quad (9b)$$

$$\Delta V^B = \Delta V_1^B + \Delta V_2^B + \dots + \Delta V_k^B + \dots + \Delta V_m^B,$$

illetve

$$\begin{aligned} \Delta G^A &= \sum_{k=1}^n \Delta U_k^A - T \sum_{k=1}^n \Delta S_k^A + P \sum_{k=1}^n \Delta V_k^A = \\ &= \Delta G^B = \sum_{k=1}^m \Delta U_k^B - T \sum_{k=1}^m \Delta S_k^B + P \sum_{k=1}^m \Delta V_k^B. \end{aligned} \quad (10)$$

A fentieknek megfelelően adott szilárd test szabadentalpia-többségének a meghatározásához — adott hőmérséklet és nyomás mellett — $3n$ adatra van szükség, ahol n a szóban forgó testben előforduló kristályhibafajták száma. Ez a $3n$ adat azonban nem független egymástól. Figyelembe véve, hogy adott test k -adik típusú ρ_k koncentrációjával az alábbi függvényeket írhatjuk fel:

$$\begin{aligned} \Delta U_k &= f_k(\rho_k); \Delta S_k = g_k(\rho_k) \\ \text{és} \qquad \qquad \qquad \Delta V_k &= h_k(\rho_k), \end{aligned} \tag{11}$$

azaz minden, a k -adik kristályhiba fajtától eredő szabadentalpiát megváltoztató növekmény egyedül a koncentrációnak a függvénye. *(A számításokban a kristályhibák közötti kölcsönhatásokat figyelmen kívül hagytuk. Ez a mérlegelés helyességét azonban nem módosítja.)* A (11) létezése a $3n$ változót n -ra csökkenti. Így pl. egy szilárd testnek, mely m_v többség üres rácshelyet tartalmaz az n_v egyensúlyi értéken felül,

$$\Delta U_v = m_v Q = f_v(m_v) \tag{12}$$

értékkel nagyobb a belső energiája az egyensúlyi értéknek, ha Q az egy üres rácshely képződéséhez szükséges energia. Az entrópia-többség pedig

$$\Delta S_v = k \ln \frac{(N - n_v)! n_v!}{(N - m_v - n_v)! (n_v + m_v)!} = g_k(m_v). \quad (13)$$

Itt N az összes rácshelyek száma.

Az egyensúlyi üres rácshelyek száma

$$n_v = N e^{-\frac{Q}{kT}}, \quad (14)$$

k a Boltzmann-állandó. Végül a fajtérfogat növekvény

$$\Delta V_v = m \frac{V_0}{z} = h_v(m_v). \quad (15)$$

V_0 az anyag kristályszerkezetéhez tartozó elemi cellának a térfogata, z pedig a benne foglalt atomok száma (pl. a térközepes köbösben 2, a felületen középpontosban 4 stb.)

A fentiek szerint a 10. egyenlet úgy írható, hogy

$$\begin{aligned} \Delta G^A = & \sum_{k=1}^n f_k(\rho_k^A) - T \sum_{k=1}^n g_k(\rho_k^A) + \\ & + P \sum_{k=1}^n h_k(\rho_k^A), \end{aligned} \quad (16)$$

illetve

$$\Delta G^B = \sum_{k=1}^n f_k(\rho_k^B) - T \sum_{k=1}^n g_k(\rho_k^B) + P \sum_{k=1}^n h_k(\rho_k^B).$$

Az utóbbi két egyenletből az következik, hogy az azonos kémiai összetétel és szabadentalpia csak szükséges, de nem elégséges feltétel az azonos termodinamikai állapotnak. Ugyanis a két utóbbi egyenlőség akkor is teljesülhet, ha

$$\rho_k^A \neq \rho_k^B. \quad (17)$$

Ez esetben ugyanis nagyon sok az A anyagnak megfelelő kémiai összetételű és azonos nagyságú szabadentalpiájú próbatest készíthető, melyeknek tulajdonságai eltérőek, következésképpen termodinamikai állapotuk is különböző. Ugyanis a ΔG^B szabadentalpia-többletet úgy is biztosíthatjuk, hogy szabadon kiválasztunk az m kristályhiba fajtából $m-1$ -et, de úgy, hogy szabadentalpia-többletük összege legyen kisebb, mint ΔG^A . Az utolsó, az m -edik típusnak a koncentrációját úgy kell kiválasztani, hogy

$$\Delta G_m^B = \Delta G^A - \Delta G_{m-1}^B. \quad (18)$$

ΔG_{m-1}^B a szabadon választott kristályhibák okozta szabadentalpia-növekvény. Így biztosítottuk ugyan az 16. egyenletek teljesülését, mégis eltérő tulajdonságú különböző termodinamikai állapotú próbatestekhez jutottunk.

A fentieket egy példán mutatjuk be. Legyen az A próbatest egy réz tűkristály (whisker), mely nem tartalmaz diszlokációt. A B

próbatest legyen az előbbivel pontosan azonos méretű és kémiai összetételű rézhuzal, jól kiizzított állapotban. Ennek természetesen ilyen állapotban nagyobb a szabadentalpiája, mint az A tűkristályé. Ha az izzítást a rézhuzalon úgy végezzük el, hogy benne krisztallithatók nincsenek, akkor a huzal szabadentalpia-többlete csupán a ρ_d diszlokációsűrűségtől ered. Ezt a ΔG_d^B szabadentalpia-többletet kell biztosítani az A tűkristályban a

$$\Delta G^A = \Delta G^B \quad (19)$$

teljesüléséhez.

A ΔG^A szabadentalpia-többletet azzal biztosíthatjuk pl., hogy az egyensúlyi ponthibákon felül annyi ponthibát hozunk létre, mely éppen kiegyenlíti a szabadentalpia-értékeket a két testben.

Ezt elérhetjük úgy, hogy az A tűkristály hőmérsékletét arra a T értékre növeljük, mely az említett ponthibatöbbletet biztosítja. Erről a hőmérsékletről gyorsan lehűtjük, hogy a kellő mennyiségű ponthiba a tűkristályban maradjon.

Ezzel a művelettel elértük, hogy a tűkristály és a rézhuzal szabadentalpiájának az értéke egyenlő ugyan, de tulajdonságaik nagymértékben különböznek. Egy tűkristály folyáshatásra ugyanis nagyságrendekkel nagyobb, mint egy rézhuzalé. A főlös számban levő ponthibák pedig, amiket létrehoztunk, tovább növelték ezt. Az azonos ΔG szabad-

entalpia-többletet tehát ebben az esetben nem biztosította a tulajdonságok azonosságát.

Nem elég tehát a termodinamikai állapotok azonosságához az azonos kémiai összetétel és egyenlő értékű szabadentalpia-növekmény, az azonossághoz még a

$$\rho_k^A = \rho_k^B \quad (20)$$

feltételnek is teljesülnie kell. Csak akkor várhatunk — legalábbis elvben — azonos szilárdtest-tulajdonságokat, ha minden kristályhibafajtának a koncentrációja is azonos.

Ebből ered az azonos termodinamikai állapotok elérésének a bizonytalansága, mert jelenlegi ismereteink szerint nem tudunk két vagy több olyan próbatestet gyártani, melyekre nézve a 20. egyenlet teljesül.

Ez az oka tulajdonképpen a minőségi paraméterek szórásának, amit a 2. ábrán bemutatunk. De ez az oka annak a különbségnek is, amit a 9. ábrán az öntöttvas szerkezetén láttunk. A minőségi szórást a termodinamikai állapotok különbözőségének az eltüntethetlensége miatt teljesen megszüntetni ugyan nem tudjuk, de a technológiai fegyelem betartásával és új, könnyebben kézben tartható technológiai műveletek kidolgozásával és bevezetésével részben a szórás csökkenthető, részben pedig az ugyanolyan kémiai összetételű anyagok minősége is javítható. Így csökkenthető ezzel az anyag- és energiafelhasználás.

A kiadásért felel az Akadémiai Kiadó és Nyomda főigazgatója

Felelős szerkesztő: Klaniczay Júlia

A tipográfia és a kötésterv Löblin Judit munkája

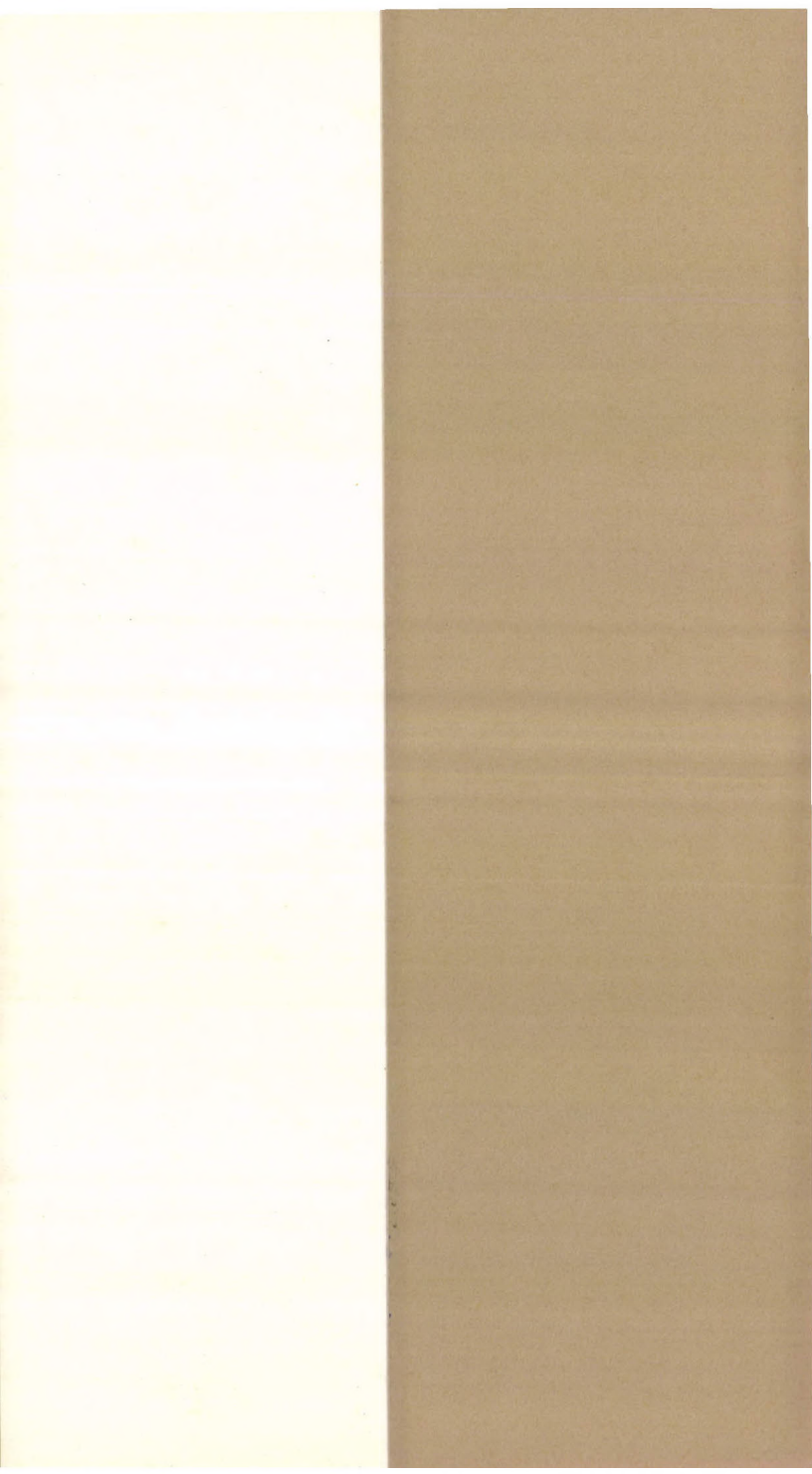
Műszaki szerkesztő: Érdi Júlia

Terjedelem: 1,98 (A/5) ív – AK 1590 k 8487

HU ISSN 0236–6258

12857 Akadémiai Kiadó és Nyomda, Budapest

Felelős vezető: Hazai György



Ára: 16,— Ft